

ВОДЯНЫЕ ЗВЁЗДЫ

Чтобы построить установку для этого опыта, мы заказали в стеклорезной мастерской две квадратные пластины 40×40 см из 6-миллиметрового стекла. В одной пластине по самому её центру попросили мастера просверлить небольшое круглое отверстие – такое, чтобы в него потом можно было плотно вставить стержень от авторучки. Вырезали из медной пластинки толщиной 0,2 мм четыре квадратные прокладки со стороной 1 см, положили их по углам одной стеклянной пластины, сверху накрыли другой пластиной и скрепили обе пластины вместе зажимами для бумаги. Из-за прокладок между стеклянными пластинами возник тонкий зазор шириной 0,2 мм. Такое устройство называется *радиальной ячейкой Хеле-Шоу*, по фамилии учёного, который его придумал.

Вставим стержень в центральное отверстие, промажем соединение воском и присоединим к стержню трубку от капельницы. Саму ячейку расположим горизонтально. Наполним шприц глицерином, подсоединим его к другому концу трубки и начнём вводить глицерин внутрь ячейки. Этот процесс идёт весьма медленно, ведь глицерин – это весьма вязкая жидкость. Когда шприц опорожнится, заполним его глицерином ещё раз и будем делать так, пока внутри ячейки не образуется глицериновый круг диаметром 15 см. Шприц каждый раз желательнее подсоединять к трубке так, чтобы внутрь ячейки не попадали пузырьки воздуха – когда вы будете сами делать этот опыт, подумайте, как этого добиться.

А теперь заполните шприц подкрашенной водой, подсоедините его к трубке и начинайте подавать воду в ячейку. И чудо! – вместо того, чтобы равномерно расталкивать глицерин во все стороны, вода начинает пробиваться через глицерин, образуя красивые узорчатые звёзды, так что каждый луч расщепляется на несколько ветвей, и эти ветви расщепляются снова. При этом чем меньше зазор между стёклами, тем чаще будут расщепляться ветви.

Давайте разберёмся, почему вода пробивается через глицерин, образуя такие красивые узоры. Глицерин – это очень вязкая жидкость, он совсем не такой



Зазор 0,4 мм



Зазор 0,2 мм



текущий, как вода. Чтобы проталкивать его через зазор, нужно создать заметную разность давлений. Давление на внешнем обводе глицеринового круга равно атмосферному, а внутри него оно больше на ту добавку, которую мы создали, надавив пальцем на поршень шприца. Именно эта разность давлений между внутренней и внешней областями и выталкивает глицерин наружу.

Для выталкивания глицерина важна даже не сама разность давлений, а перепад этой разности, который по-научному называется *градиент*. Одно дело – когда давление на сколько-то падает на длине 10 см, и другое – когда оно падает на столько же на длине 1 см. Во втором случае градиент давления в 10 раз больше, и, по закону течения вязких жидкостей в трубах, зазорах и пористых средах, который называется *законом Дарси*, скорость течения здесь тоже будет в 10 раз больше.

А теперь представим себе, что граница между внутренней водой и наружным глицерином была с самого начала не совсем круглой, но с небольшими «язычками». Тогда напротив язычков расстояние от этой границы до внешнего края глицерина было чуть меньшим – а значит, градиент давления внутри глицерина был здесь чуть большим. Но где градиент давления больше, там глицерин течёт быстрее. А значит, водяные язычки будут делаться длиннее, и градиент давления напротив язычков будет становиться ещё больше. Так происходит развитие гидродинамической неустойчивости, которая по имени её открывателей называется неустойчивостью Саффмана – Тейлора.

Кстати сказать, когда эти авторы опубликовали в 1958 году своё открытие, им сразу же заинтересовались нефтяники. Когда нефтяной слой истощается и нефть перестаёт выходить из-под земли самотёком, в пласт начинают закачивать воду, чтобы создать там повышенное давление. Нефть находится в толще пористого пласта, и водой её проталкивают через узкие поры. Но нефть – более вязкая жидкость, нежели вода. Поэтому вода, которую закачивают в пласт, обладает неприятным свойством не просто давить на нефть, но пробиваться сквозь неё – как она пробивалась через глицерин в нашем опыте. Так что для выжимания нефти из породы нужно придумывать дополнительные ухищрения.



Художник Анна Горлач

